

4/7

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-084117

(43)Date of publication of application : 26.03.1999

(51)Int.Cl. G02B 5/18
G02B 6/10
G02B 6/122

(21)Application number : 09-244439

(71)Applicant : FUJIKURA LTD

(22)Date of filing : 09.09.1997

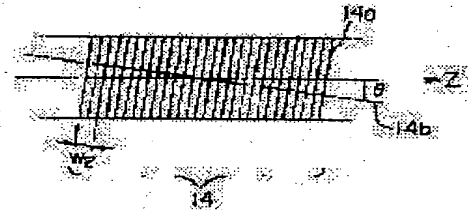
(72)Inventor : NAKAI MICHIIHIRO

(54) REFLECTION TYPE OPTICAL WAVEGUIDE GRATING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To diminish the intensity of reflected light by forming the periodic perturbation of a core in the longitudinal direction of an optical waveguide and inclining the direction of the perturbation of the core in a range of a specific angle with the axial direction of the core.

SOLUTION: The arranging direction of the periodic gratings formed on one surface of a phase mask consisting of quartz glass is set diagonally with the axial direction (Z) of an optical fiber. The pitch of the gratings is constituted constant in such a manner that the pitch w_2 of the changes 14a, 14a... of refractive indices is made constant in a grating part 14. When the optical fiber is irradiated with UV light via the phase mask, the periodic changes 14a, 14a of the refractive indices are formed in the core of the part where interference fringes are generated by the interference of the diffracted light by these gratings, by which the grating part 14 is obtd. The direction 14b (the direction of the change in the perturbation of the core) of the periodic changes of the changes 14a, 14a of the refractive indices orthogonal with the change 14a of the refractive index is inclined in a range of 0.1 to 10° with the axial direction (Z) of the core.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

4/7

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-84117

(43) 公開日 平成11年 (1999) 3月26日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18

G 0 2 B 5/18

6/10

6/10

C

6/122

6/12

A

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平9-244439

(22) 出願日

平成9年 (1997) 9月9日

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 中居 道弘

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ
クラ佐倉工場内

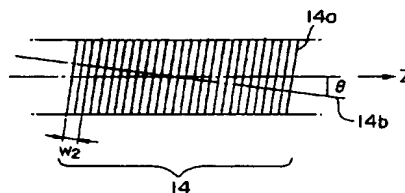
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (外3名)

(54) 【発明の名称】 反射型光導波路グレーティング

(57) 【要約】

【課題】 反射型光ファイバグレーティングにおいて、反射光の強度が小さい低反射光導波路グレーティングを提供する。

【解決手段】 コア1 aの長さ方向に、コア1 aの屈折率の変化1 4 aが一定ピッチあるいはチャープトピッチで複数形成されてなり、これら屈折率の変化1 4 a、1 4 a…の変化の方向1 4 bの、前記コア1 aの軸方向 (Z方向) を基準にした傾き θ が0. 1～10度となるように傾けられている反射型光導波路グレーティングを構成する。



FP01-0235-
0000-SE
02.10.22
SEARCH REPORT

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路のコアの長さ方向に、周期的なコアの擾動が形成されてなり、

前記周期的なコアの擾動の方向は、前記コアの軸方向に対して0. 1〜10度の範囲で傾けられていることを特徴とする反射型光導波路グレーティング。

【請求項2】 前記コアの擾動のピッチは、光の入射側が長ピッチで、コアの長さ方向にそってこのピッチが段階的に短くなっていくチャープトピッチであることを特徴とする請求項1記載の反射型光導波路グレーティング。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は反射型光導波路グレーティングに関し、特に透過光の阻止率を低下させることなく反射光強度を小さくすることができ、また、透過光の阻止帯域幅を広くすることができる低反射光導波路グレーティングに関する。

【0002】

【従来の技術】光導波路グレーティングは、光ファイバあるいは基板型光導波路などの長さ方向にコアの擾動を形成したものである。前記コアの擾動を形成するには、例えばコアの屈折率やコア径などをコアの長さ方向に周期的に変化させる方法が知られている。このコアの擾動が形成された部分においては、光の伝搬状態が変化するようにになっている。

【0003】一般に、光導波路グレーティングには放射型と反射型がある。放射型グレーティングはコアを伝搬するモードとクラッドを伝搬するモード（以下クラッドモードという）とを結合させることによって、特定波長帯域の光をコア外に放射して減衰させる特性を有するものである。この結果、透過スペクトルにおいて、前記特定波長帯域の透過損失が増加した損失ピークが得られる。放射型グレーティングの透過スペクトルにおいては、広い波長帯域において、複数の損失ピークが得られる特徴がある。以下、透過スペクトルの損失ピークの波長帯域の幅を阻止帯域幅、この阻止帯域の中心の波長を中心波長、損失ピークの最も大きな透過損失を阻止率とよぶ。

【0004】また反射型グレーティングは、コアを正の方向に伝搬するモードと、コアをこれとは反対の方向（負の方向）に伝搬するモードとを結合させることによって、特定波長帯域の光を反射させる特性が得られるようにしたものである。反射型グレーティングにおいては、透過スペクトルとともに反射スペクトルを測定することによって、その特性を評価することができる。以下反射スペクトルにおいて、反射光強度が増加している部分を反射光ピーク、この反射光ピークの波長帯域幅を反射帯域幅、この反射帯域幅の中心の波長を中心波長とよぶ。反射型グレーティングの透過スペクトルにおいて

は、一般にひとつの比較的狭い阻止帯域幅の損失ピークが得られる。反射スペクトルにおいては、この阻止帯域幅にほぼ対応する反射帯域において、損失ピークの阻止率とほぼ等しい反射光強度を有する反射光ピークが得られる。

【0005】放射型グレーティングと反射型グレーティングの構成上の主な違いは、コアの擾動の周期（以下グレーティングピッチ、あるいは単にピッチということがある）の違いにある。例えばコアの屈折率の周期的な変化を形成してなる光導波路グレーティングの場合、放射型グレーティングはグレーティングピッチを数百 μm 程度にすることによって得られ、反射型グレーティングはグレーティングピッチを1 μm 以下程度とすることによって得られている。

【0006】また反射型グレーティングにおいて、比較的阻止帯域幅を広くすることができるものとしてチャープトグレーティングがある。チャープトグレーティングは、チャープトピッチでグレーティングを形成したものである。前記チャープトピッチとは、グレーティングピッチをコアの長さ方向に変化させたものである。例えばコアの長さ方向に、長ピッチから短ピッチに徐々に変化させたものなどがある。チャープトグレーティングは、ピッチの変化に対応して損失ピークの波長も変化するので、透過スペクトルにおいて、比較的広い阻止帯域の損失ピークが得られる。

【0007】従来より光導波路グレーティングの製造方法のひとつとして、ゲルマニウムが添加された石英ガラスに、強い紫外光を照射するとその照射量に応じて屈折率が上昇するフォトリフラクティブ効果を利用して、コアに屈折率変化を形成する方法が知られている。

【0008】例えば光ファイバグレーティングを作製する場合、ゲルマニウムが添加された石英ガラスからなるコアと、純石英ガラス、あるいはフッ素が添加された石英ガラスからなるクラッドを有する光ファイバを用意する。図8（a）〜（c）は光ファイバグレーティングの製造方法の一例を示したものである。

【0009】最初に光ファイバ1を必要に応じて水素加圧容器中（100atm程度）で水素添加処理する。この水素添加処理によって、屈折率の上昇量を大きくすることができる。ついでこの光ファイバ1の外周を覆う合成樹脂製の被覆層（図示せず）の一部を所定長さ分除去する。

【0010】一方、石英ガラスからなる位相マスク3の片面には周期的な格子3a、3a…が等間隔で形成されている。符号3bは、格子3aに直交するこれらの格子3a、3a…の配列方向を示している。この位相マスク3を図8（b）に示されているように、前記光ファイバ1の上に、前記格子3a、3a…の配列方向3bが、この光ファイバ1（コア1a）の軸方向（図中Z方向で示す）に対して平行になるように配置し、この位相マスク

3

3を介して光ファイバ1に紫外光2を照射する。

【0011】すると、周期的な格子3a、3a…によって紫外光2が回折し、+1次回折光と-1次回折光とが干渉して、周期的な干渉縞が生じる。この干渉縞が生じた部分の光ファイバ1のコア1aの屈折率が変化し、周期的な屈折率の変化4a、4a…が形成され、グレーティング部4が得られる。このとき前記格子3a、3a…の周期（ピッチ）を Λ とすると、干渉縞のピッチ、すなわち前記屈折率の変化4a、4a…のグレーティングピッチは $\Lambda/2$ となる。他には、光ファイバ1の長さ方向に順次紫外光の照射位置を移動させながら、所定位置に紫外光を照射する方法などによっても光ファイバグレーティングが製造されている。あるいは、プリズムやホログラフィを利用する方法なども提案されている。

【0012】ところで光導波路グレーティングは、光増幅器などの光デバイスの利得の波長依存性を平坦化するのに用いられる。すなわち前記光デバイスが、その波長-利得特性において利得が大きい波長帯域を有する場合、この波長帯域に実質的な損失ピークを有する光導波路グレーティングを組み合わせると、利得を平坦化することができる。

【0013】しかしながら反射型グレーティングにおいては、反射光が入射光を阻害しないように、アイソレータを用いてこの反射光を減衰させる必要がある。このため装置が高価になるといった問題がある。これに対して放射型グレーティングの阻止帯域の光は、クラッドモードと結合して放射光となるので、アイソレータを用いる必要がない。このため、この様な用途には放射型グレーティングが主に用いられている。しかしながら、放射型グレーティングは素子長（グレーティング長）が長く、装置をコンパクト化することが難しい。また損失ピークが複数存在するため、所望の波長帯域の光が損失する同時に、他の波長帯域の光を損失させてしまうことがある。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】よって本発明においては、反射型光ファイバグレーティングにおいて、反射光の強度が小さい反射型光導波路グレーティングを提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明は、光導波路のコアの長さ方向に、周期的なコアの擾動が形成されてなり、このコアの擾動の方向は前記コアの軸方向に対して1～10度の範囲で傾けられていることを特徴とする反射型光導波路グレーティングである。また、前記コアの擾動のピッチは、光の入射側が長ピッチで、コアの長さ方向にそってこのピッチが段階的に短くなっていくチャープピッチであると好ましい。

【0016】

4

【発明の実施の形態】以下本発明の反射型光導波路グレーティングについて、光ファイバを例として、その製造方法とともに説明する。図1は本発明の反射型光ファイバグレーティングの製造方法の一例を示す平面図であって、紫外光の照射方向から位相マスクと、この下に位置する光ファイバを見た状態が示されている。図2は本発明の反射型光ファイバグレーティングの一例を示す説明図、図3は図2に示す反射型光ファイバグレーティングのコアに形成されたグレーティング部を示す説明図である。本発明の反射型光ファイバグレーティングは、例えば図8(a)に示す光ファイバグレーティングの製造方法において、位相マスクの格子の間隔や配置角度をかえて製造することができる。以下図8(a)も利用して説明する。

【0017】図中符号1は光ファイバであって、この光ファイバ1は例えばそのコア1aがゲルマニウムが添加されてなる石英ガラスからなり、クラッドは前記コア1aよりも低屈折率で、純石英ガラス、あるいはフッ素が添加された石英ガラスからなるものである。

【0018】符号13は位相マスクであって、この位相マスク13は石英ガラスからなり、その片面には周期的な格子13a、13a…が形成されている。格子13aに直交するこれらの格子13a、13a…の配列方向13bは、光ファイバ1（コア1a）の軸方向（Z方向）に対して斜めにセットされている。また、後述するグレーティング部14において、屈折率の変化14a、14a…のピッチw2が一定となるように、これらの格子13a、13a…のピッチw1は一定に構成されている。

【0019】この位相マスク13を介し、図8(a)と同様にして光ファイバ1に紫外光2を照射する。すると図2、図3に示すように、前記格子13a、13a…による回折光が干渉して干渉縞が生じた部分のコア1aに周期的な屈折率の変化14a、14a…が形成され、グレーティング部14が得られる。

【0020】光ファイバ1としては、シングルモード光ファイバあるいはマルチモード光ファイバが用いられるが、光通信システムに組み込んで用いることを考えると、一般に光通信システムに用いられているシングルモード光ファイバを用いるのが好適である。

【0021】屈折率の変化14aに直交する、屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向14b（コア1aの擾動の変化の方向）は、少なくともコア1aの軸方向（Z方向）に対して傾けられて形成されている必要がある。図3に示すように、格子13a、13a…の配列方向13bの傾きを、前記コア1aの軸方向（Z方向）を基準とした角度 θ で表すと、屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向14bの、前記コア1aの軸方向（Z方向）に対する傾きはこの角度 θ と等しくなる。この角度 θ は好ましくは0、1～10度の範

囲で設定される。0.1度未満であると反射光強度の低減効果が十分に得られず、10度をこえると結合効率の低下によって十分な阻止率が得られないことがある。

【0022】また、このグレーティング部14の長さ（グレーティング長）は0.1～50mm、好ましくは1～5mmとされる。格子13a、13a…のピッチw1は0.5～1.2μmとされる。このときグレーティング部14のピッチw2は格子13a、13a…のピッチw1の1/2となるので、0.25～0.6μmとなる。

【0023】この反射型光ファイバグレーティングの特徴は、コア1aの軸方向（Z方向）に対して屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向14bが傾けられていることである。この結果、反射光はコア1aの外に放出され、クラッドモードと結合して放射され、反射光の強度を小さくすることができる。

【0024】ところで、従来の反射型光ファイバグレーティングにおいては、後述するように透過光はブラッグ反射波長の光が阻止されるようになっている。これに対し、本発明においては、屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向14bが傾けられているので、ブラッグ反射波長以外の波長の光もクラッドモードと結合してコア1a外に放射されて、透過が阻止されるようになる。この結果、従来の反射型光導波路グレーティングと比較して、透過スペクトルの阻止帯域幅が広いものとすることができる。すなわち、従来の反射型グレーティングにおいて阻止帯域幅を広くするためにはグレーティング長を長くする必要があるが、この反射型光ファイバグレーティングは、従来より阻止帯域幅が広いものを短いグレーティング長で得ることができ、装置やシステムのコンパクト化を図ることができる。

【0025】これらの効果は、グレーティングのピッチを一定としても得られるものであるが、チャープトグレーティングを採用すると、さらに反射光の強度を小さくことができ、効果を高めることができる。このチャープトグレーティングは、チャープトピッチがコアの長さ方向にそって長ピッチから短ピッチに、あるいは短ピッチから長ピッチに段階的に変化しているものでなくてはならない。そして最も長いピッチと最も短いピッチとの差は0.001～0.01μm程度とされる。このとき長ピッチ側から光を入射すると、反射光のうち、短波長側の光はグレーティング部の途中でクラッドモードと結合して放射されるという特性が得られる。このため反射光の短波長側の光の強度を小さくすることができる。

【0026】以下、具体的な検討の経過とともに、チャープトグレーティングを用いた製造例を示して詳細に説明する。

【第1の製造例】図4はチャープトグレーティングを採用した場合の光ファイバグレーティングの動作を説明する説明図である。この光ファイバ1に形成されたグレー

ティング部14Aにおいては、コア1aの軸方向（Z方向）に対して、屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向14bが傾けられ、かつチャープトピッチで形成されている。このチャープトピッチは、コア1aの長さ方向にそって長ピッチから短ピッチに、あるいは短ピッチから長ピッチに段階的に変化しているものである。

【0027】ここで、反射型光ファイバグレーティング（反射型光導波路グレーティング）において、グレーティングピッチ（ $\Lambda/2$ ）と、入射光のうち反射光となる光の波長（ λ_B ：ブラッグ反射波長）とは、以下の式で表される比例関係にある。

$$\lambda_B = 2n_{eff} \cdot \Lambda/2$$

ただし、 n_{eff} はコアの実効屈折率である。

【0028】このようなグレーティング部14Aに、長ピッチ側から光を入射し、入射光の波長を λ_1 、 λ_2 とし、これらの関係が $\lambda_1 < \lambda_2$ であると仮定する。長波長の λ_2 はグレーティング部14Aの途中の λ_2 に対応する長ピッチの部分で反射光となる。これに対して短波長の λ_1 は、長波長の λ_2 よりも長くグレーティング部14Aを伝搬し、 λ_1 に対応する短ピッチの部分で反射されて反射光となる。このとき屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向14bが傾いているために、前記 λ_1 はグレーティング部14Aの途中でコア1aの外に放出されるという特性が得られる。

【0029】この製造例1の光ファイバグレーティングにおいては、光ファイバ1として、コア1aがゲルマニウムを添加した石英ガラスからなり、クラッドが純石英ガラスからなるものを用いた。コア1aの径は9.5μm、光ファイバ1の外径は約125μm、コアークラッド間の比屈折率差は約0.3%であった。

【0030】このとき格子のピッチが格子の配列方向に変化している位相マスクを用い、位相マスク法によって、チャープトピッチで周期的な屈折率の変化14a、14a…が形成されたグレーティング部14Aを作製した。グレーティング部14Aにおいて、ピッチは長ピッチから短ピッチに0.57～0.56μmに変化し、グレーティング長は10mmであった。また、周期的な屈折率の変化14a、14a…を形成した部分のコアークラッド間の比屈折率差は約0.32%、屈折率の変化14a、14a…の変化の方向14bを表す角度 θ は1度とした。

【0031】図5、図6は、この光ファイバグレーティングの透過スペクトルと反射スペクトルの関係を示すグラフである。図5は短ピッチ側から光を入射したときの結果を示すもので、図6は長ピッチ側から光を入射したときの結果を示すものである。P1、P2はそれぞれ透過スペクトルを示し、R1、R2はそれぞれ反射スペクトルを示している。透過スペクトルにおいては、縦軸の0～-50dBの範囲において、-50dBに近い程阻止率

が大きいことを示している。反射スペクトルにおいては、縦軸の $-50 \sim 0$ dBの範囲において、0 dBに近い程反射光強度が大きいことを示している。例えば反射光ピークの強度が0 dBの場合は、透過損失の100%が反射光となっていることを示す。

【0032】図5においては、阻止帯域のほとんどにおいて、反射光ピークの強度は -1 dB付近となっており、グレーティング部14Aにおいて損失した光の多くが反射光となっていることがわかる。これに対して図6は、図5と比較して反射光ピークの短波長側の強度が小さくなっていることがわかる。このようにチャプトレーティングの長ピッチ側から光を入射することによって、短波長側の反射光強度を低減することが可能となる。

【0033】本発明の反射型光導波路グレーティングにおいては、できるだけ反射光の強度を小さくしたいので、長ピッチ側から光を入射するチャプトレーティングを用いると好ましいことが明らかである。図6に示す透過スペクトルにおいて、阻止帯域幅は10 nm、阻止率は12 dB、中心波長は1640 dBであった。また反射スペクトルにおいて、反射光帯域幅は13 nm、最も大きい反射光ピークの強度は -1 dB、中心波長は1640 dBであった。

【0034】[第2の製造例] 角度 θ を2度とする以外は、第1の製造例のチャプトレーティングと同様にして光ファイバグレーティングを作製した。図7は、この光ファイバグレーティングにおいて、長ピッチ側から光を入射したときの光学特性を示すグラフであって、P3は透過スペクトル、R3は損失スペクトルである。

【0035】図6と図7とを比較すると、最も大きい反射光ピークの強度が -1 dB付近から -15 dB付近に低下していることがわかる。したがって、コア1aの屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向14bを十分に傾けることによって、反射光の強度を大幅に小さくすることができることが明らかである。

【0036】図7に示す透過スペクトルにおいて、阻止帯域幅は13 nm、阻止率は7 dB、中心波長は1635 dBであった。また反射スペクトルにおいて、反射光帯域幅は4 nm、最も大きい反射光ピークの強度は -15 dB、中心波長は1642 dBであった。特に阻止帯域幅は、図6に示す透過スペクトルに対して3 nm程広くなり、コア1aの屈折率の変化14a、14a…の周期的な変化の方向を十分に傾けることによって、阻止帯域幅を広くすることができることがわかった。

【0037】この反射型光ファイバグレーティングにおいては、グレーティングピッチ、角度 θ 、グレーティング長などを適宜変化させることによって、透過スペクトルにおける阻止帯域幅、中心波長、阻止率、反射スペク

トルにおける反射光強度、反射帯域幅、中心波長などの特性を変化させることができる。

【0038】上述の製造例は光ファイバグレーティングを例として説明したが、本発明の反射型光導波路グレーティングは、基板型の光導波路にも適用することができる。またコアの擾動は、上述のようにコアの屈折率を変化させて形成するものの他に、コアの長さ方向において、コア径を拡大、あるいは縮小させて形成することもでき、この擾動の方向を傾けることによって同様の効果が得られる。

【0039】

【発明の効果】以上説明したように本発明においては、コアの擾動の方向が傾けられているので、反射光がコア外に放出され、反射光強度を低減することができる。このため光通信システムにおいて、アイソレータなどの高価な装置を省略、あるいは精度が低い低価格のものを用いることができる。また、従来の反射型グレーティングと比較して阻止帯域幅を広くすることができるので、素子長を短くすることができ、コンパクト化を図ることができる。また長ピッチから短ピッチに段階的に変化するチャプトレーティングを採用し、長ピッチ側から光を入射するようにすると、短波長側の反射光強度を低減することができ、さらに効果を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の反射型光ファイバグレーティングの製造方法例を示す平面図である。

【図2】 本発明の反射型光ファイバグレーティングの一例を示す説明図である。

【図3】 図2に示す反射型光ファイバグレーティングのコアに形成されたグレーティング部を示す説明図である。

【図4】 チャプトレーティングの動作を説明する説明図である。

【図5】 第1の製造例において、短ピッチ側から光を入射した場合の透過スペクトルと反射スペクトルを示すグラフである。

【図6】 第1の製造例において、長ピッチ側から光を入射した場合の透過スペクトルと反射スペクトルを示すグラフである。

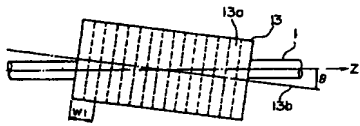
【図7】 第2の製造例の反射型光ファイバグレーティングの透過スペクトルと反射スペクトルを示すグラフである。

【図8】 図8(a)～(c)は光ファイバグレーティングの製造方法の一例を示した説明図である。

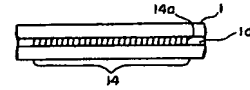
【符号の説明】

1…光ファイバ、14…グレーティング部、14a…屈折率の変化。

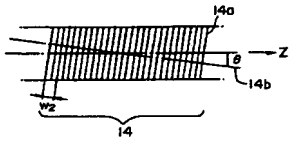
【図1】



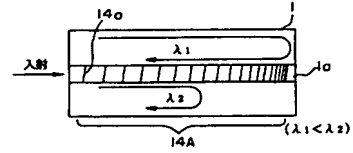
【図2】



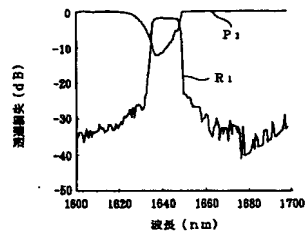
【図3】



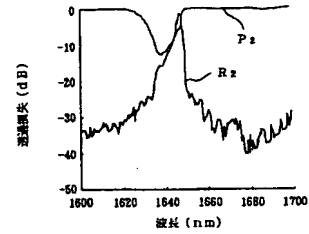
【図4】



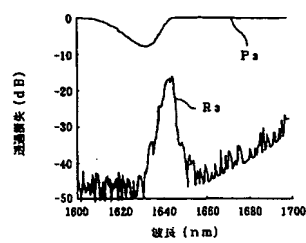
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

